

# Reduceret tildeling af råprotein til søer

- Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af  
Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav

---

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Peter Kappel Theil<sup>1</sup>, Christian Friis Børsting<sup>1</sup>, Anne Louise Frydendahl Hellwing<sup>1</sup> & Peter Kai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, Aarhus Universitet

<sup>2</sup>Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet

## Datablad

---

Titel:	Reduceret tildeling af råprotein til søer - Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav
Forfattere:	Professor Peter Kappel Theil, seniorrådgiver Christian Friis Børsting og akademisk medarbejder Anne Louise Frydendahl Hellwing, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU Seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU
Fagfællebedømmelse:	Professor Knud Erik Bach Knudsen, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Specialkonsulent Johanna Höglund, specialkonsulent Anna Feldberg Marsbøll og akademisk medarbejder Majbrit Guldborg, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Miljøministeriet (MIM) Departementet
Dato for bestilling/levering:	25.02.2019/24.11.2022
Faglig redaktion afsluttet:	26.06.2020
Journalnummer:	2022-0448304
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Aarhus Universitet.
Ekstern kommentering:	En følgegruppe nedsat af Departementet har haft mulighed for at kommentere skriftligt på udkast til notatet. Følgegruppen bestod ud over Departementet af repræsentanter fra Miljøstyrelsen, Danmarks Naturfredningsforening, Kommunernes Landsforening, København Fur, Landbrug & Fødevarer og Økologisk Landsforening. AU modtog ikke nogen kommentarer.
Eksterne bidrag:	I forbindelse med udarbejdelse af notatet har forfatterne haft kontakt til chefkonsulent Per Tybirk, SEGES Innovation for afklaring af spørgsmål vedr. optimal fodring af søer.
Kommentarer til bestilling:	Miljøministeriet (MIM) Departementet har bedt AU om at revidere det tekniske grundlag for BAT i Danmark jf. bestilling af 25. februar 2019 benævnt "BAT-projektet". Bestillingen er opdateret d. 16. august 2019. Forventninger til omfang og detaljeringsgrad er løbende blevet opdateret. MIM Departementet har ønsket en samlet slutlevering af hele BAT-projektet.
Kommentarer til besvarelse:	Notatet har ikke været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.
Ophavsret:	Notatet er omfattet af gældende regler om ophavsret.
Citeres som:	Theil, PK., Børsting, CF., Hellwing, ALF. og Kai, P. 2022. Reduceret tildeling af råprotein til søer – Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 20 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på <a href="https://dca.au.dk/raadgivning/">https://dca.au.dk/raadgivning/</a>

## Forord

Det er en af de grundlæggende betingelser for at opnå miljøgodkendelse, at ansøgninger om etablering eller udvidelse af husdyrbrug med en ammoniakemission, der overstiger 750 kg NH<sub>3</sub>-N per år, har truffet de nødvendige foranstaltninger til at forebygge og begrænse ammoniakforureningen ved anvendelse af den bedste tilgængelige teknik (BAT).

Formålet med dette projekt har været at opdatere det faglige grundlag for en efterfølgende politisk fastsættelse af grænseværdier for ammoniakemission (BAT-krav), der anvendes ved miljøgodkendelse af husdyrbrug.

Projektet er gennemført som et samarbejde mellem Aarhus universitet (AU) og Københavns Universitet (KU). Seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU har været projektleder i forhold til den tekniske og miljømæssige beskrivelse af effekter af stalde og teknologier, mens lektor Brian H. Jacobsen, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, KU, har været projektleder for de økonomiske analyser.

Som led i projektet har AU og KU udarbejdet en serie notater, der omfatter nærmere definerede driftssystemer og teknologier indenfor driftsgrenene grise, kvæg, fjerkræ og mink:

**Driftssystembeskrivelser** er notater, der beskriver den typiske indretning og drift af specifikke stald- og stityper til bestemte dyregrupper og de dermed forbundne emissioner af ammoniak, lugt og drivhusgasser samt de vigtigste ressourceforbrug, der knytter sig til produktionen. Notaterne er udarbejdet af AU. Driftssystembeskrivelserne indeholder med få undtagelser økonomiske nøgletal, som er udtræk fra økonomi-notater udarbejdet af KU.

**Teknologibeskrivelser** er notater, der beskriver specifikke typer af teknologier og deres miljøeffekt, når de anvendes i specifikke stald-/stityper og de dermed forbundne ressourceforbrug og emissioner af ammoniak og lugt. Teknologibeskrivelsernes tekniske og miljømæssige del er udarbejdet af AU, mens de økonomiske nøgletal er udtræk fra økonomi-notater udarbejdet af KU.

**Økonomiske udrednings- og dokumentationsnotater** beskriver dels forudsætningerne for økonomiske analyser af virkemidler til reduktion af ammoniakemissionen i husdyrproduktionen samt de økonomiske konsekvenser forbundet med anvendelse af stalde og teknologier. Disse er udarbejdet og publiceret af KU.

Som opsummering er der for hver driftsgren (for grise opdelt på produktionstype) udarbejdet et **resumé- og analysenotat**, der sammenholder miljømæssige og økonomiske effekter ved anvendelsen af stalde og teknologi, herunder i diverse kombinationer og som funktion af husdyrholdets størrelse.

# Reduceret tildeling af råprotein til søer

---

## Resumé

---

Emission af ammoniak fra stald		Reduceret råproteinindhold i sofoderet fra 133,3 g/FEso til henholdsvis 128,0 eller 126,0 g/FEso reducerer ammoniakemissionen med henholdsvis 7 og 10 %.
Emission af lugt fra stald		Ingen effekt.
Emission af støv		Ingen effekt.
Emission af drivhusgasser fra stald		Reduceret N-udskillelse reducerer den direkte og indirekte lattergasemission.
Energi og ressourceforbrug		Ingen effekt.
Affald og spildevand		Ingen effekt.
Miljøfremmede stoffer		Ingen effekt.
Virkning på lager og mark		En reduktion i foderets råproteinindhold reducerer ammoniakemissionen fra lager og under udbringning af gylle.
Driftssikkerhed		Teknikken er driftssikker i det beskrevne område.
Økonomi		Der er ikke udarbejdet økonomisk analyse.

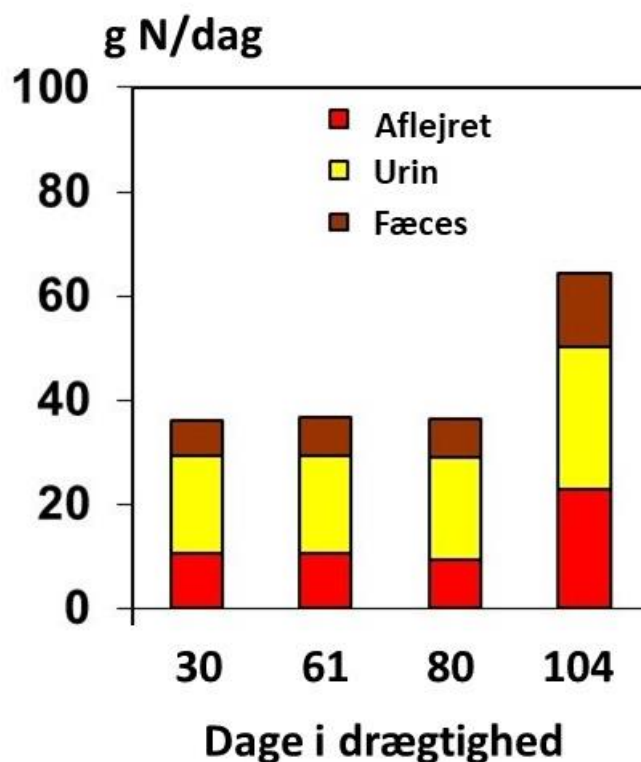
---

## Definitioner

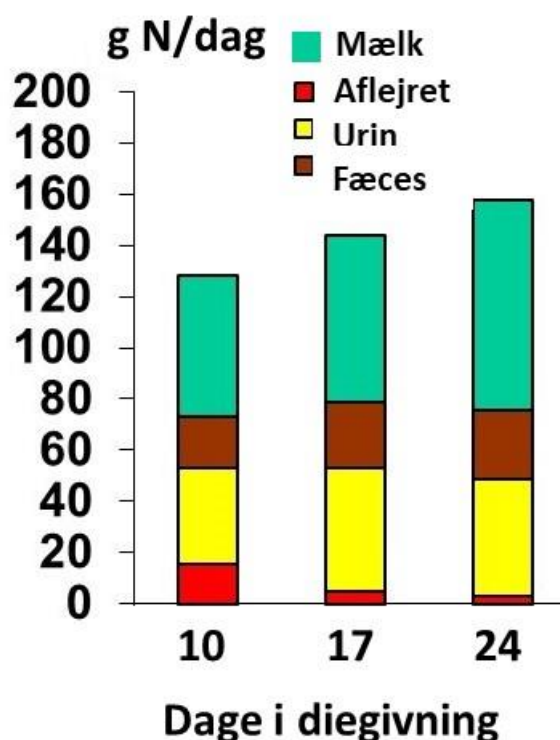
- Enhedsblanding: Anvendelse af foderblanding med uændret indhold af næringsstoffer gennem et helt vækstforløb (smågrise, slagtesvin) eller en hel produktionscyklus (søer).
- Essentiel aminosyre: En aminosyre defineres som en essentiel eller uundværlig aminosyre, hvis den ikke kan dannes ved dyrets eget stofskifte ud fra andre aminosyrer eller andre metabolitter i stofskiftet i en hastighed, der svarer til dyrets behov, og som derfor skal tilføres via foderet.
- Fasefodring: Anvendelse af flere foderblandinger gennem et helt vækstforløb (slagtesvin) eller del af en produktionscyklus (søer) for bedre at tilfredsstille dyrenes behov for næringsstoffer i en specifik periode af deres vækst eller produktionscyklus.
- FEsv: Foderenhed til svin (smågrise og slagtesvin). Dansk energivurderingssystem, som fastlægger energiindholdet i svinefoder på grundlag af næringsstoffernes fysiologiske energiværdi. Derved kan foderets fysiologiske værdi fastlægges og sammenlignes uafhængigt af dets ingredienser.
- Fri aminosyre: Industrielt fremstillet specifik aminosyre. Fremstillingen foregår typisk ved fermentering. Det er ikke tilladt at benytte frie aminosyrer i økologisk svineproduktion.
- Råprotein: Foderets indhold af råprotein beregnes som indholdet af kvælstof (N) ganget med faktoren på 6,25 for alle foderstoffer. Det betyder, at alle kvælstofforbindelser (også eksempelvis nukleinsyrer) medregnes i råprotein, uanset om de bidrager med aminosyrer eller ej. I normale foderblandinger er råprotein dog meget tæt på at være lig med summen af alle aminosyrer.
- Standardiseret ileal fordøjelighed: Først måles den tilsyneladende ileale fordøjelighed som forskellen mellem mængden af næringsstof, fx. råprotein, tilført med foderet og mængden fundet ved enden af tyndtarmen (ileum). Under fordøjelsen udskilles en række fordøjelsesenzymer, og disse består af proteiner. Den standardiserede ileale fordøjelighed er højere end den målte tilsyneladende ileale fordøjelighed, fordi grisen udskiller fordøjelsesenzymer, og en del af disse absorbers ikke i tarmen, hvilket kaldes for det endogene tab. Det endogene tab opdeles i to, nemlig det specifikke og det uspecifikke endogene tab. Det specifikke endogene tab afhænger af råvarevalget, mens det uspecifikke anses for at være konstant per kg optaget fodertørstof. Den standardiserede ileale fordøjelighed beregnes ved at korrigere den tilsyneladende ileale fordøjelighed for det uspecifikke endogene tab.
- Syntetisk aminosyre: Se Fri aminosyre.
- Tilsyneladende fækal fordøjelighed: Forskellen mellem mængden af næringsstof, fx. råprotein, tilført med foderet og mængden fundet i fæces. Ved indførelsen af det nuværende proteinvurderingssystem i 2003, fandt man iflg. Tybirk (2020), at for typiske foderblandinger kunne den fækale tilsyneladende proteinfordøjelighed beregnes ved at multiplicere den standardiserede ileale fordøjelighed med 0.972.

## Beskrivelse

Den fordøjelige del af foderets protein, som normalt udgør 72-84 % af det totale proteinindhold i sofoder (se senere), aflejres enten som protein i soen eller i pattegrisene (overført via livmoder og somælk) eller udskilles som urinstof i urinen. Ufordøjet protein udskilles som organisk bundet kvælstof med fæces. Udnyttelsen af foderets protein er vist for drægtige søer (Figur 1) og diegivende søer (Figur 2). "Protein"-tabet (N-tabet x 6,25) i urin kan minimeres ved at fodre så tæt på søernes behov for essentielle aminosyrer og råprotein som muligt. Det forudsætter detaljeret viden om søernes fysiologiske behov, og det grundlag blev markant forbedret i perioden 2014-2019 for de diegivende søer. Til gengæld mangler der viden om de drægtige søers aminosyrer behov.



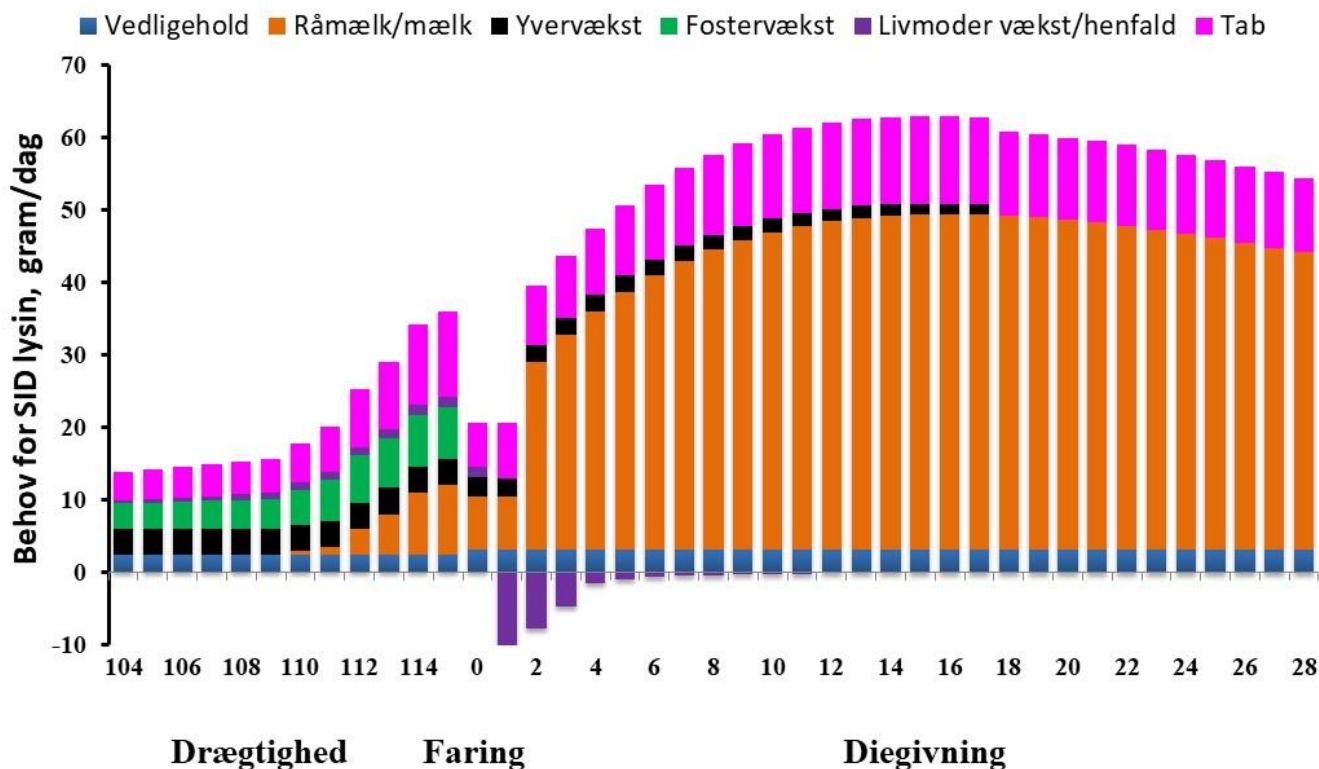
**Figur 1.** Udnyttelse af foderets protein (protein = N x 6,25) hos drægtige søer på dag 30, 61, 80 og 104 i drægtighed (Theil et al., 2002). Foderet indeholdt 12,1 % råprotein i foderet (svarende til 13,5 % råprotein i tørstoffet).



**Figur 2.** Udnyttelse af foderets protein (protein = N x 6,25) hos diegivende søer på dag 10, 17 og 24 i diegivning (Theil et al., 2004). Foderet indeholdt 16,3 % råprotein (svarende til 18,3 % råprotein i tørstoffet).

Når urinstof kommer i kontakt med bakteriefloraen fra fæces, omdannes urinstof hurtigt til ammonium og fordampes nemt som ammoniak. Ammoniakfordampningen kan reduceres, hvis protein udnyttelsen i so og pattegrise maksimeres, og N-udskillelsen til urin minimeres. For at opnå en høj udnyttelse af foderets protein, og derigennem undgå ekstra N udskilt via urinen, er det vigtigt at fodre så tæt som muligt på søernes behov for essentielle aminosyrer. I drægtighedsperioden har søerne et dagligt protein-behov til søernes egen vækst (mest for unge søer og gylte) og til fostervækst og yvervækst. I diegivningsperioden har søerne et stort dagligt aminosyre-behov (og dermed protein-behov) til mælkeproduktion (Figur 2). I dagene efter faring trækker livmoderen sig sammen, og det frigiver en del aminosyrer til blodet, som kan dække op imod 10 % af det daglige proteinbehov i de

første dage efter faring. I alle faser af soens reproduktionscyklus har soen også et behov for aminosyrer til vedligehold, om end dette er lavt sammenlignet med behovene til reproduktion (fostre, yver og mælk). I praksis kendes behovene ikke for alle aminosyrer, og i Danmark sikrer man sig imod underforsyning af de essentielle aminosyrer ved at anbefale et minimumsniveau af råprotein (90 gram standardiseret fordøjeligt råprotein per foderenhed (FEso) i drægtighedsfoder og 118 gram standardiseret fordøjeligt råprotein pr. FEso i diegivningsfoder). Det er vigtigt her at påpege, at dyrene ikke har et dagligt behov for råprotein, de har kun daglige behov for de specifikke essentielle aminosyrer.



**Figur 3.** Det daglige behov for standardiseret ileal fordøjeligt (SID) lysin i de sidste 10 dage af drægtigheden og i 4 uger i diegivning (Feyera and Theil, 2017). Lysin anses for at være den først begrænsende aminosyre for udnyttelsen af foderets protein. Det samlede daglige behov fås ved at addere behovene til vedligehold, råmælk/mælk, yvervækst, fostertilvækst, livmoder (og hinder), samt et uundgåeligt tab af lysin. Bemærk at livmoderen henfalder efter faring og bidrager med lysin, som ikke behøver at komme fra foderet. Lysin anses for at være den først begrænsende aminosyre i foderets protein.

### Diegivende søer

I perioden fra 2013 til 2018 har der i Danmark været gennemført fem dosis-respons forsøg udført i samarbejde mellem SEGES, AU og KU, for at undersøge behovene for valin, lysin og råprotein i diegivningsperioden med forskellige forudsætninger (Strathe et al., 2016; Strathe et al., 2017; Hojgaard et al., 2019a, 2019b, 2019c). Det arbejde har medført markante ændringer i de danske anbefalinger, og de 2 vigtigste ændringer er at anbefalingen for protein er hævet fra 110 til 125, mens lysin anbefalingen blev hævet fra 6,0 til 7,7 gram st. ford. lysin/FEso. Sidstnævnte justering er vigtig, fordi alle andre essentielle aminosyrer anbefales i forhold til lysin. Før forsøgsrækken anbefalede man eksempelvis 4,6 gram std. ford. valin/FEso (svarende til 76% af lysin), men efter forsøgsrækken er valin-anbefalingen nu ændret til 5,3 gram std. ford. valin/FEso. Ændringer i valin anbefalingen er altså

steget i absolutte tal, men faldet til 69% når det udtrykkes i forhold til lysin. På samme måde er anbefalingen af flere andre aminosyrer blevet justeret, og det har haft den positive gevinst at proteinanbefalingen nu er sænket til 118 gram std. ford. råprotein/FEso. Sidstnævnte reduktion kan kun opnås, hvis der tilsættes 4 aminosyrer (lysin, treonin, methionin og tryptofan) som frie aminosyrer. Forsøgene har gjort det muligt at skærpe aminosyreprofilen og dermed reducere tildelingen af råprotein markant, så diegivende søer nu har en høj udnyttelse af foderets protein (Pedersen et al., 2019).

Hvis profilen af aminosyrer i foderet er dårligt afstemt i forhold til soens behov, så vil der være et markant overskud af aminosyrer som nedbrydes i leveren, hvorved overskuds N omdannes til urea (urinstof), og urea transporteres til nyrene og udskilles via urinen. I 00'erne var det et stort problem, fordi mange besætninger brugte samme enhedsblanding til søerne i både die- og drægtighedsperioden, og fordi det ikke var almindeligt at bruge frie aminosyrer til søerne. Normerne for lysin og råprotein til diegivende søer blev hævet i 2013, men det har ikke øget det gennemsnitlige proteinindhold i årene efter 2013, fordi det blev for dyrt at bruge diefoder uden for farestalden. Tallene viser, at på trods af at den danske anbefaling (norm) for råprotein steg til diegivende søer, så er det lykkedes at reducere landsgennemsnittet fra 138,0 g råprotein per FEso siden det seneste teknologiblads blev udgivet i 2011 (anonym, 2011) til 133,3 gram råprotein per FEso i 2017 beregnet som et landsgennemsnit for hele cyklus (Lund, 2018). Søernes udnyttelse af foderets protein er altså forbedret markant, efter man er begyndt at fodre med 2 foderblandinger. Effekten på proteinudnyttelsen hos søer er tydelig, hvis man sammenligner et nyt og et knapt 20 år gammelt studie med diegivende søer. I det gamle studie blev der brugt en enhedsblanding uden frie aminosyrer, og der blev anvendt de normer, som var gældende på daværende tidspunkt. Tabet af N i urin udgjorde dengang 29 % af søernes N indtag (Theil et al., 2004). Et nyt studie gennemført ved AU har netop vist, at søer nu kun udskiller ca. 17 % af foderets protein i urinen, når de fodres optimalt i henhold til de nyeste normer (Tybirk et al., 2019). Det skal bemærkes, at det blev opnået ved at tilsætte 4 frie aminosyrer til foderet (Pedersen et al., 2019).

## Drægtige søer

Der har aldrig været gennemført tilsvarende dosis-respons forsøg på drægtige søer, for at klarlægge deres aminosyre behov i drægtighedsperioden. Man ved, at lysin og proteinbehovet stiger markant sidst i drægtighed, som det også fremgår af Figur 3. Figuren illustrerer også, at hvis foderet formuleres til at dække behovet sidst i drægtigheden, så vil søerne blive markant overforsynet med lysin og protein i det meste af drægtigheden (> 100 dage). Fasefodring med flere foderblandinger til drægtige søer vil altså kunne reducere proteinoverskuddet og dermed reducere ammoniakfordampningen. I de studier, der hidtil er gennemført, har man undersøgt om man kunne hæve søernes produktivitet (antal fødte eller fravænnede grise) ved at øge proteinindholdet i foderet over det anbefalede indhold. Et tidligere studie fra 2008 konkluderede således, at fostertilvæksten var ens for søer fodret med drægtighedsfoder indeholdende 90 g ford. råprotein/FEso og foder indeholdende 110 g ford. råprotein/FEso. Til gengæld er det ikke undersøgt, hvor meget man kan reducere foderets proteinindhold, før produktiviteten falder. Der er heller ikke gennemført forsøg med det formål at undersøge "smertegrænsen" for lysin (den først-begrænsende aminosyre), eller den optimale aminosyreprofil (de enkelte aminosyrer i % af lysin) til drægtige søer. I 2019 blev der for første gang indført minimumsnormer til forskellige faser af drægtighedsperioden (Tybirk et al., 2019), men de er baseret på



modelberegninger, og derfor forventes de ikke at give nogen stor gennemslagskraft i branchen, før de er blevet dokumenteret i praksis.

Med baggrund i vores nuværende viden vurderes det derfor realistisk at reducere det gennemsnitlige totale protein-indhold i sofoder fra 133,3 til 126-128 gram per FEso ved at anvende fasefodring og de nyeste minimumsnormer. I praksis bruger de fleste besætninger kun 2 foderblandinger, men nogle er begyndt også at anvende en overgangsblending omkring faring. Generelt gælder det, at jo færre foderblandinger, der anvendes, jo mere overskudsprotein udskilles via urinen og ender i gyllen. Der er dog et markant og u-udnyttet potentiale for at reducere råprotein-indholdet og dermed ammoniakemissionen fra drægtige søer. Det vil kræve, at dansk sofoder som landsgennemsnit reduceres mere end de nævnte 126-128 gram råprotein per FEso, der pt anses for at være opnåeligt (Tybirk, 2020). Men hvis det scenarie skal blive en realitet, så kræver det en forudgående forskningsindsats for at belyse hvad protein- og aminosyre behovene er hos drægtige søer.

Ved at tilsætte frie aminosyrer til foderet kan søernes aminosyrebehov dækkes samtidig med at proteinindholdet i foderet sænkes. Herved falder især indholdet af N udskilt via urin. Faldet i N-indhold i urin sænker pH i gyllen, hvilket sammen med mindre ammonium-N i gyllen medfører mindre ammoniakfordampning. Der kan være yderligere positive gevinster ved at reducere foderets proteinindhold, det har vi ikke tilstrækkeligt vidensgrundlag til at udtale os om.

## Fodring i praksis

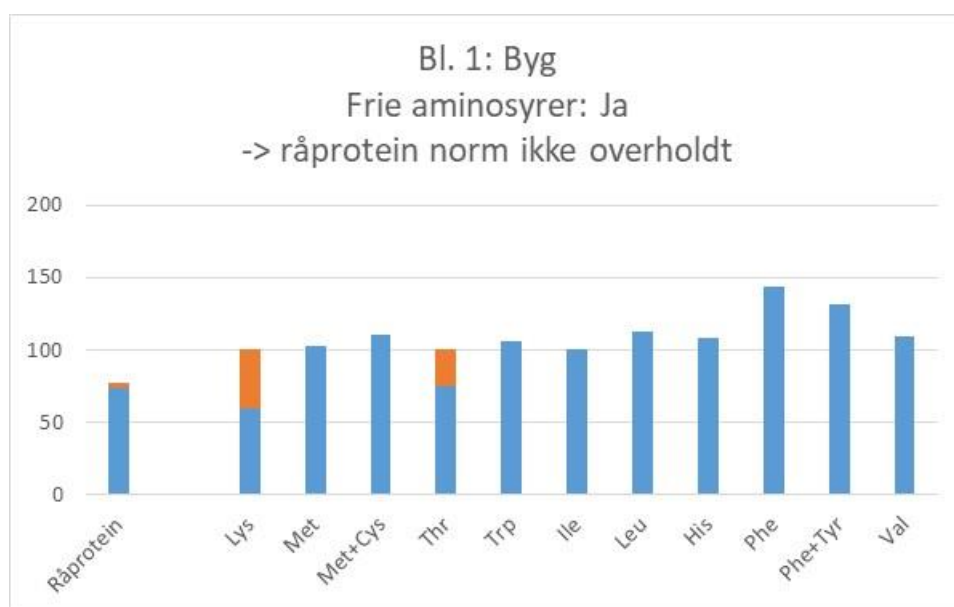
I normtallene for 2018 var foderforbruget som et landsgennemsnit 1484 FEso per år (Lund, 2018). Foderforbruget betyder meget for N-udskillelsen. I de fleste danske besætninger fodres der med både en drægtighedsblending og en diegivningsblending. Hvis man vil fodre tættere på dyrenes behov for at minimere N-udskillelsen og dermed ammoniakfordampningen, kan man vælge at bruge en overgangsblending omkring faring, der så skal sørge for en mere optimal forsyning med næringsstoffer (herunder protein) sidst i drægtighed og i tidlig diegivning, inden mælkeproduktionen bliver rigtig høj. Man kunne også vælge at fodre i 2 faser i drægtighedsperioden (tidlig+midt og sen drægtighed) og i 2 faser i diegivning (tidlig laktation og top-laktation) for at komme endnu tættere på søernes behov.

Udnyttelsen af foderets protein afhænger af en række faktorer. Eksempelvis er protein-fordøjeligheden lavere i drægtighedsfoder end i diefoder, fordi der bruges en række fiberrige råvarer i drægtighedsfoderet, og fordi andelen af protein, der stammer fra kornet, er højere i drægtighedsfoder end i diegivningsfoder. Fordøjeligheden af protein fra korn er lavere end sojaskrå, hvilket er den råvare der bidrager mest med protein i diegivningsfoder. Udnyttelsen af foderets protein afhænger derudover af, om man bruger frie aminosyrer. Det er blevet meget udbredt de senere år at inkludere betydelige mængder af frie aminosyrer i diegivningsfoder, mens det stort set ikke bruges i drægtighedsfoder. Grunden er primært at mange drægtige søer kun fodres en gang i døgnet. Hvis man kun giver søer ét dagligt måltid, vil søerne forbrænde for stor andel af de frie aminosyrer i leveren, fordi de optages for hurtigt til blodet, og derfor tilføres de ikke til de andre væv i et tempo, der passer til dyrenes behov igennem hele døgnet. Det er ikke et problem i diegivningsperioden, hvor søerne fodres 3 gange dagligt.

## Formulering af foderblandinger til drægtige søer

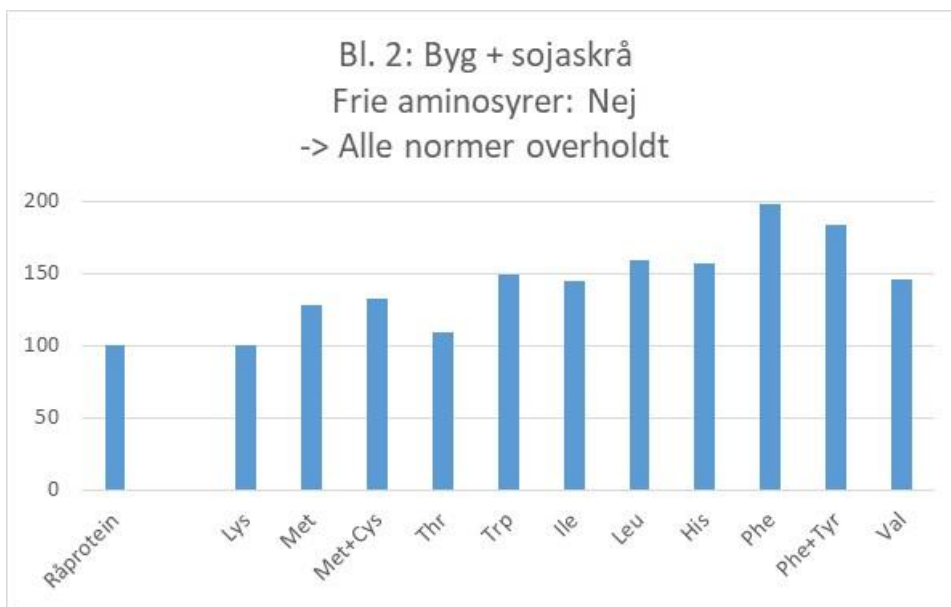
Dagligt formuleres der nye foderblandinger af folk ansat i foderstofbranchen, og det kan gøres ud fra en række forskellige principper. Fælles for de fleste (men ikke alle) principper er, at foderblandingerne formuleres, så de overholder de gældende normer for aminosyrer og råprotein, mens man typisk ikke har fokus på at minimere blandingens proteinindhold (forudsat at aminosyre-normerne er overholdt). I det følgende vises nogle scenarier for, hvordan næringsstofnormer kan overholdes, når forskellige fodermidler bruges, fordi de illustrerer hvor store forskelle der er på protein-indholdet og proteinudnyttelsen. Og der påpeges også, hvor et bedre videngrundlag potentielt vil kunne reducere ammoniakfordampningen i fremtiden.

Byg er en rigtig god råvare til drægtige søer, og ved blot at tilsætte frit lysin og treonin til byg, så kan man overholde alle de gældende normer for essentielle aminosyrer og samtidigt komme ned på 69 gram råprotein per FEso, eller hele 23 % under den nuværende proteinnorm på 90 gram råprotein pr. FEso (Figur 3).



**Figur 3.** Foderblanding til drægtige søer, der er baseret på byg, mineraler, vitaminer, og tilsætning af frie aminosyrer. Indeks for indholdet af de enkelte essentielle aminosyrer er sat relativt til søernes behov (=100%) i drægtighedsperioden. Blandingen indeholder kun 69 gram ford. protein pr. FEso, svarende til 77 % af den danske norm på 90 gram ford. protein per FEso (Tybirk et al., 2019). De danske normer for aminosyrer til drægtige søer tyder på, at drægtige søer overforsynes markant med råprotein på grund af den danske norm for råprotein.

Råvaren byg har en aminosyreprofil, som ligger ret tæt på den profil, der pt anses for at være optimal til drægtige søer. Byg skal kun tilsættes syntetisk lysin og treonin for at opfylde alle aminosyrebehov. Hele 41 % af lysinet vil imidlertid stamme fra syntetisk lysin, når foderblandingen kun består af byg, mineraler og vitaminer, mens overskuddene af de fleste essentielle aminosyrer vil være minimal og udgøre mindre end 10 % (dvs. under indeks 110 på y-aksen i Figur 3). Proteinindholdet kan formodentligt reduceres fra den nuværende norm på 90 gram ford. protein pr. FEso, men om den kan reduceres helt ned til 69 gram ford. protein pr. FEso er uvist og vil kræve, at der gennemføres nye forsøg med faldende indhold af fordøjeligt protein per FEso.

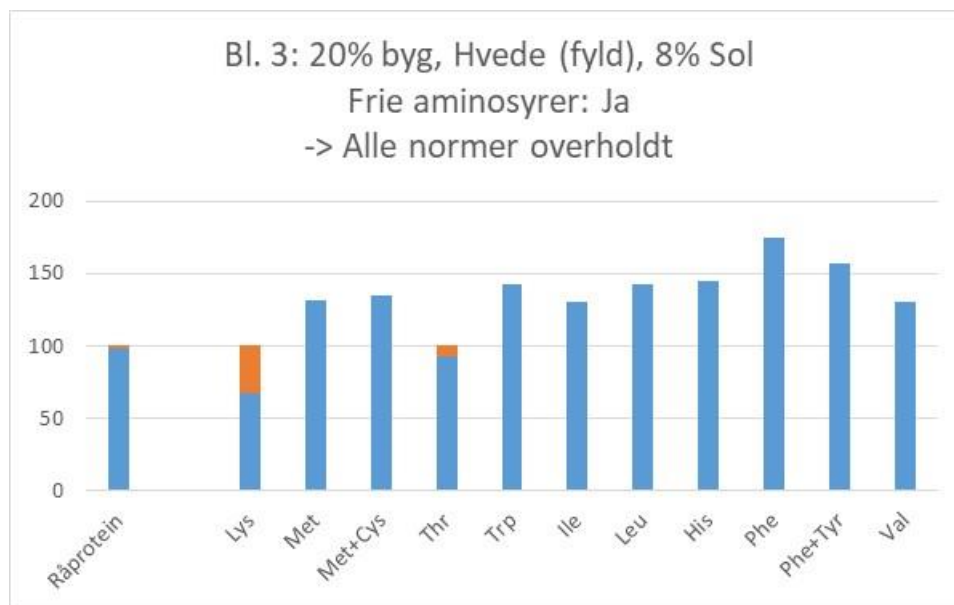


**Figur 4.** Foderblanding til drægtige søer der er baseret på byg, sojaskrå, mineraler, vitaminer. Der tilsættes ikke syntetiske aminosyrer, fordi alle disse behov er opfyldt, når behovet for råprotein opfyldes. Indeks for indholdet af de enkelte essentielle aminosyrer er sat relativt til søernes behov (=100%) i drægtighedsperioden (Tybirk et al., 2019). Blandingen indeholder 90 gram ford. protein per FEso, og det er værd at bemærke, at behovet for råprotein rammes samtidigt med, at lysin behovet opfyldes, og derfor er der ingen grund til at tilsætte syntetiske aminosyrer.

Selvom byg har en meget fordelagtig aminosyresammensætning, så er de fleste foderblandinger til drægtige søer baseret på byg, hvede og sojaskrå. Hvede har ikke en god aminosyreprofil til søer, så hvis der tages udgangspunkt i byg og sojaskrå, så vil man kunne optimere en foderblanding, der slet ikke kræver tilsætning af syntetiske aminosyrer (Figur 4). Blandingen vil overholde kravet til lysin, men på samme tid formentligt have et unødvendigt højt indhold af råprotein på 90 gram ford. protein per FEso. Som figur 4 viser, så er alle de essentielle aminosyrer nemlig i overskud, når protein-normen er opfyldt. I praksis bruges foderblandinger til drægtige søer baseret på byg, hvede og sojaskrå, hvor forholdet imellem byg og hvede varierer markant. Korndelen kan således godt være baseret på ren byg, men den kan også være baseret på halv byg/halv hvede. Konsekvensen ved at iblande sojaskrå i stedet for at iblande mere syntetisk lysin er, at mange søer overforsynes med 25 til 100 % for de fleste aminosyrers vedkommende (illustreret ved et indeks imellem 125 og 200 på y-aksen i figur 4). Der mangler dog viden om, hvor godt drægtige søer udnytter foder med en høj andel af frit lysin. I praksis er det også almindeligt at bruge foder med mere råprotein, end normen angiver (typisk anvendes 100 g ford. protein per FEso eller 10 % over den danske anbefaling på 90 g ford. protein per FEso). Det gøres for at sikre, at søerne ikke mangler en eller flere af de essentielle aminosyrer, og for netop at undgå det høje indhold af tilsat frit lysin. Sidstnævnte er problematisk for drægtige søer, idet de typisk kun fodres en gang om dagen, hvilket giver risiko for at de tilsatte frie aminosyrer ikke udnyttes optimalt bl.a. pga. risiko for, at de nedbrydes i rørsystemet, der fører foderet hen til søerne. Praktisk erfaring tyder på, at maksimalt 30% må udgøres af frie aminosyrer (dvs. 70% skal være proteinbundne).

Hvis man laver en blanding med byg, hvede, sojaskrå og solsikkekrå (Figur 5), så får man ca. samme overskud af de essentielle aminosyrer, når protein-normen på 90 gram fordøjeligt råprotein overholdes, som det var tilfældet hvis blandingen var baseret kun på byg og sojaskrå. I dette tilfælde er det

også nødvendigt at have en forholdsvis høj iblanding af syntetisk lysin (33 % af total lysin). Overskuddene af de fleste essentielle aminosyrer udgør imellem 30 og 75 % (dvs. imellem indeks 130 og 175 på y-aksen på figur 5).

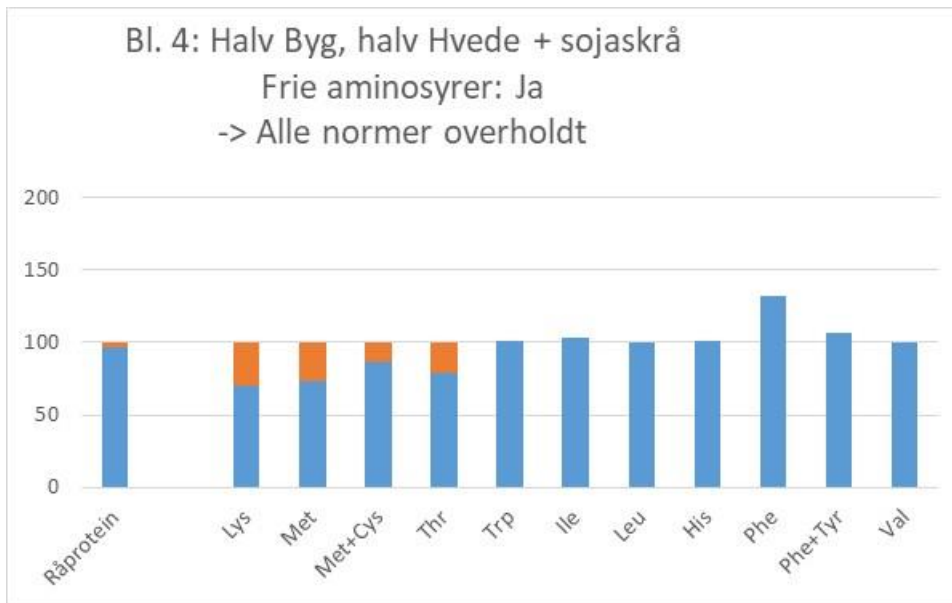


**Figur 5.** Foderblanding til drægtige søer baseret på byg, hvede, sojaskrå, solsikkekrå, mineraler, vitaminer og syntetiske aminosyrer. Indeks for indholdet af de enkelte essentielle aminosyrer er sat relativt til søernes behov (=100%) i drægtighedsperioden. Blandingen indeholder 90 gram ford. protein pr. FEso, hvilket er i overensstemmelse med den nuværende danske norm (Tybirk et al., 2019).

I praksis bruges der meget ofte foderblandinger i drægtighedsperioden, der ligner den i figur 4 (dog typisk med lidt hvede iblandet), og uden eller med kun meget lille iblanding af syntetiske aminosyrer. Konsekvensen er, at søerne overforsynes med protein, og at søerne har en lav udnyttelse af proteinet, hvilket forårsager en øget N udskillelse i urinen og øget ammoniakfordampning.

### Formulering af foderblandinger til diegivende søer

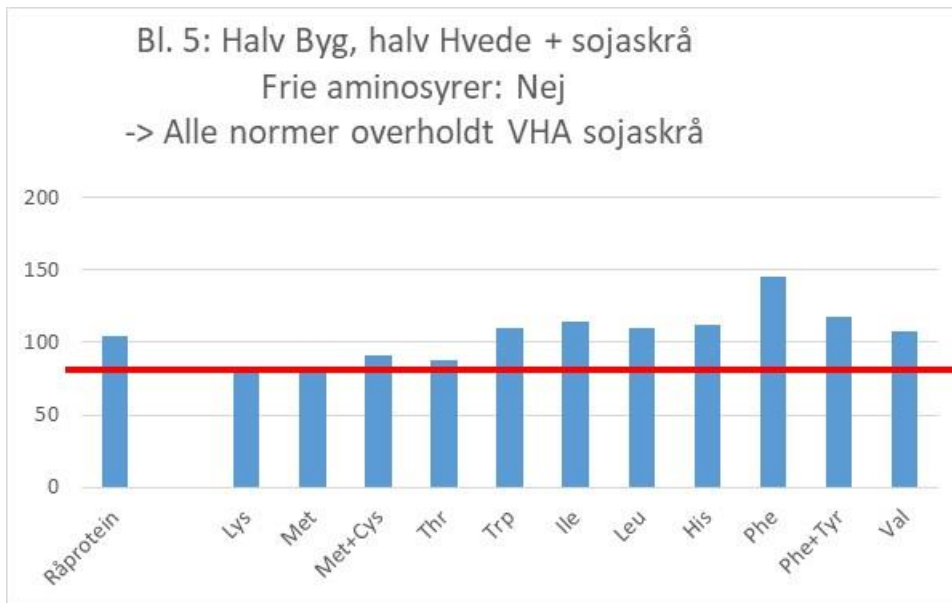
I diegivningsperioden er det meget brugt at fodre med blandinger, hvor kornandelen består af 50 % byg og 50 % hvede og med sojaskrå som proteinrig råvare. I sådanne blandinger anvendes typisk de samme 4 gængse syntetiske og økonomisk favorable aminosyrer. Sådanne blandinger er karakteriseret ved at forsyne de diegivende søer med en næsten optimal aminosyre-profil (Figur 6). I diegivningsfoder er det ikke noget problem med en høj iblanding af syntetiske aminosyrer, fordi søerne fodres mere end en gang dagligt. Når der ses bort fra phenylalanine (indeks = 133, dvs. 33 % overskud) er overskuddene af alle essentielle aminosyrer minimale og udgør højst 7 % (dvs. indeks imellem 100 og 107 på y-aksen på figur 6), når der tilsættes 4 syntetiske aminosyrer.



**Figur 6.** Foderblanding til diegivende søer baseret på byg og hvede (samme andel) samt sojaskrå, mineraler, vitaminer og syntetiske aminosyrer. Indeks for indholdet af de enkelte essentielle aminosyrer er sat relativt til søernes behov (=100%) i diegivningsperioden. Blandingen indeholder 118 gram ford. protein pr. FEso, hvilket er i overensstemmelse med den nuværende danske norm for diegivende søer (Tybirk et al., 2019).

Besætninger, der anvender vådfoder, har problemer med syntetiske aminosyrer, fordi de nedbrydes i vådfoderrørene i tiden mellem to udfodringer. Dette problem løser man i praksis ved at tilsætte ekstra syntetiske aminosyrer ved at indregne en kunstig lav fordøjelighed af disse tilsætningsstoffer, og det betyder, at proteinudnyttelsen ikke kan reduceres helt til samme niveau i vådfoderbesætninger som i tørfoderbesætninger, hvis der tages udgangspunkt i samme foderblanding.

Som nævnt ovenfor forbrændes overskud af aminosyrer i leveren, hvorved N udskilles via urinen, mens kulstoffet anvendes som energi. De gældende normer afspejler den viden, som er akkumuleret over tid, og således er de nyeste normer altid det bedste bud på søerne behov. Med de nye forsøg, der er gennemført i perioden 2013-2018, blev de danske anbefalinger til diegivende søer derfor markant forbedret. Et tilsvarende arbejde mangler at blive lavet for drægtige søer. For at illustrere, hvor store mængder protein, de diegivende søer forbrændte i leveren indtil 2014, vises en foderblanding som er optimeret ud fra de gældende normer i 2013 (Figur 7). Dengang var det ikke særligt udbredt at anvende syntetiske aminosyrer til diegivende søer. Som figuren viser, så var søerne underforsynet specielt med lysin, fordi den danske anbefaling dengang var 6,0 gram fordøjeligt lysin per FEso, mens vi i dag ved, at søernes reelle behov er på 7,7 gram fordøjeligt lysin per FEso. Konsekvensen var, at danske søer indtil og med 2013 havde en dårlig proteinudnyttelse, en høj N udskillelse i urin og dermed forårsagede de en høj ammoniakfordampning. I Figur 7 er indtegnet en vandret streg ved lysin, som viser, at lysin begrænsede søernes mælkeydelse før 2014. På grund af mangelfuld viden om søernes lysin-behov, så havde danske diegivende søer en dårlig proteinudnyttelse før 2014, og de udnyttede således ikke ca. 25 % af foderets protein, fordi søerne fik for lidt lysin. Det betød, at foderets sammensætning både reducerede søernes produktivitet og forårsagede et forhøjet N-tab i urin.



**Figur 7.** Foderblanding til diegivende søer baseret på byg og hvede (samme andel) samt sojaskrå, mineraler, vitaminer uden brug af syntetiske aminosyrer. Foderblandingen er formuleret ud fra den viden der var tilgængelig om søernes behov i 2013. Indeks for indholdet af de enkelte essentielle aminosyrer er sat relativt til søernes behov (=100%) i diegivningsperioden med den viden vi har tilgængelig i dag (Tybirk et al., 2019). Blandingen indeholder 124 gram ford. protein pr. FEso, hvilket både er over den danske anbefaling i 2013 (110 gram ford. råprotein per FEso) og 2019 (118 gram fordøjeligt råprotein per FEso), men skyldes, at diegivningsfoder dengang ofte blev formuleret uden brug af syntetiske aminosyrer.

### Mulig reduktion af N-udskillelsen i soholdet

Generelt er der et dårligere vidensgrundlag for at reducere ammoniakfordampningen fra soholdet, sammenlignet med vidensgrundlaget for smågrise og slagtesvin. Det hænger til dels sammen med at foderforbruget til sidstnævnte er større, men også at det er dyrt at lave videnskabelige undersøgelser med søer. Ammoniakfordampningen kan i praksis reduceres ved at sænke proteinniveauet i sofoderet. Foderets indhold af råprotein er typisk 11 % i drægtighedsfoder og 14 % i diegivningsfoder, men det afhænger af valget af råvarer, og af, om der benyttes frie aminosyrer eller ikke. I diegivningsfoder kommer en betydelig del af proteinet fra sojaskrå, hvilket har en højere fordøjelighed end det protein, der kommer fra korndelen (primært byg og hvede). Derfor er den tilsyneladende fækale fordøjelighed af råprotein lidt højere for diegivningsfoder, end det er for drægtighedsfoder. I et dansk studie fandt man således, at en traditionel foderblanding til diegivende søer havde en tilsyneladende fækale fordøjelighed på 83 % (Theil et al., 2004), mens den var 80 % for en traditionel drægtighedsblanding (Theil et al., 2002).

Ved at formulere en række foderblandinger med samme protein-indhold baseret på forskellige valg af råvarer, så kan man beregne, at den tilsyneladende fækale fordøjelighed i drægtighedsfoder varierer imellem 74 og 83 % med et gennemsnit på 77. I disse beregninger er programmet AGROSOFT brugt til at optimere foderblandinger, og der er omregnet fra standardiseret ileal fordøjelighed til tilsyneladende fækale fordøjelig ved at bruge faktoren 0.972 (Tybirk, 2020). Det skal bemærkes, at den tilsyneladende fækale fordøjelighed afhænger af råvarevalget, og at den falder markant, når foderet indeholder store mængder af fibre. På samme vis vil den tilsyneladende fækale fordøjelighed i diegivningsfoder variere imellem 80 og 84 % med et gennemsnit på 82. Når der indregnes, hvor meget af det årlige foderforbrug, der er diegivningsfoder, så svarer det til, at soens gen-

nemsnitlige foder har en protein-fordøjelighed på 79,4 %. Hvis ammoniakfordampningen skal sænkes via fodringen, så skal foderets indhold af råprotein sænkes. Det vil have den afledte effekt, at protein-fordøjeligheden falder marginalt, fordi en større andel af protein vil stamme fra korn delen (byg og hvede), og derved vil andelen af N, der ender i fæces stige marginalt. I Tybirk (2020) er der opstillet et regnskab for, hvor meget af foderets N, der aflejes i so og pattegrise, samt hvor meget N, der tabes via fæces (ud fra den tilsyneladende fækale fordøjelighed), og endeligt regnes udskillelsen af urin som en differens. Tybirk (2020) opstiller 2 scenarier for, hvor meget urin-tabet kan minimeres ved at sænke proteinindholdet i foderet fra de nuværende 133,3 til hhv. 128,0 eller 126,0 gram per foderenhed. I beregningerne antages det, at den tilsyneladende fækale fordøjelighed af protein i normalt for husdyrgødning 2018-19 (Lund, 2018) var 80,0 %, og at den vil falde til 79,1 % eller 78,6 %, hvis protein-indholdet i soens gennemsnitsfoder reduceres til disse niveauer. Som det ses af Tabel 1, vil tabet via urinen falde med henholdsvis 7,2 og 10,1 %, hvis foderets indhold af protein sænkes til henholdsvis 128,0 eller 126,0 gram per foderenhed.

**Tabel 1.** Indtag af N fra foder og udnyttelse til aflejring i so og grise samt tab i fæces og urin.

Råprotein (g pr. FEso)	N indtag (kg N/årsso)	N-fækal fordøjelighed (%)	N aflejret i soen (kg/årsso)	N aflejret i grise (kg/årsso)	N udskilt i fæces (kg/årsso)	N udskilt i urin (kg/årsso)	N-urin reduktion (%)
<b>133,3</b>	31,65	80,0	1,98	5,54	6,33	17,80	-
<b>128,0</b>	30,39	79,1	1,98	5,54	6,35	16,52	7,2
<b>126,0</b>	29,92	78,6	1,98	5,54	6,40	15,99	10,1

## Den anvendte beregningsmodel og mulighed for forbedringer fremadrettet

I den eksisterende N-udskillelses-model, som benyttes til beregning af normalt for næringsstoffer i husdyrgødning, laves der en differens-beregning for at estimere N-udskillelsen i urin. Den estimerede N-udskillelse fås ved at gøre rede for, hvor meget N dyrene indtager (foderindtag x N koncentration i foder) og så fratrække output af N i fæces + N aflejret i soen + N aflejret i pattegrisene. Modellen inkluderer bidrag fra andre reproduktive stadier såsom polte-opvækst og orne-fodring, og på samme vis er tilvæksten hos dødfødte grise og grise, der dør inden fravæning, inkluderet i aflejret N hos pattegrise.

Som altid ved udarbejdelse af modeller, så er de en simplificeret udgave af virkeligheden, og der er nogle forhold, som ikke er indregnet, og som bør vurderes ved tolkning af normtallene. Disse forhold er følgende:

1) En del foder ender som foderspild, idet der er forskel på fodertildeling og foderoptag på grund af foderspild. I modellen medregnes alt N fra foderspild som N-tab i urin på grund af differens-beregningen, hvorved N-tabet i urin i princippet overvurderes. Ifølge NRC (de amerikanske anbefalinger for næringsstoffer for svin) så tager de udgangspunkt i, at grise æder 95 % af det tildelte foder. Foderspildet vil dog afhænge meget af udfodringssystem, fodertrug mm. Med udgangspunkt i tallene fra 2018 (133,3 gram råprotein per FEso), så vil det samlede N-tab fra soen være 6,8% lavere, men ses der separat på urin og fæces er overvurderingen 7,8 % for urin og 5% for fæces, hvis søerne reelt har et foderspild på 5 %.



På den anden side ved vi heller ikke, hvordan N fra foderrester bliver omsat i gyllen og hvorvidt det medfører et øget ammoniak tab. Muligvis vil letomsætteligt protein i foderspildet hurtigt blive omsat af mikroorganismer i gyllen og derved bidrage til gyllens pool af ammonium.

2) Det bliver mere og mere almindeligt at fodre pattegrise i farestalden, enten via smågrisefoder, eller via nye såkaldte mælkeanlæg eller såkaldte mikrovådfoder-anlæg. Bidragene fra smågrisefoderet er inkluderet i normtalsberegningen, dog via foderet til fravænningsgrisene, der får samme foderblanding. Til gengæld er næringsstofferne fra mælkeanlæggene ikke medtaget i den nuværende model til beregning af normtal for N-tabet via urin. Det sidstnævnte forhold vil, i modsætning til foderspildet, undervurdere det beregnede N-tab i urin fra søer og pattegrise.

Det skal her præciseres, at værdierne i Tabel 1 ikke har taget højde for foderspild og heller ikke for tildeling af mælkepulver i farestalden i beregningsmodellen. Hvis foderspildet inkluderes (ved at øge N-tabet i fæces med  $N\text{-indtag} \times 0,05$ ), så vil N-tabet i urin reelt være lavere, men den procentvise reduktion i urin N ved at gå fra 133,3 til 128,0 eller 126,0 vil stadigvæk være næsten den samme, som hvis der ikke tages hensyn til foderspildet, nemlig henholdsvis 6,8 og 9,6 % ved at tage hensyn til foderspildet i forhold til 7,2 og 10,1 % uden hensyn til foderspild, som vist i Tabel 1. Tabet i gødning vil i praksis være næsten konstant, uanset om man tildeler 133, 128 eller 126 gram fordøjeligt råprotein per foderenhed, fordi faldet i protein-indtag "opvejes" af et fald i N-fordøjelighed (et fald i fordøjelighed => højere udskillelse i fæces).

## Ammoniakemission

Som grundlag for beregning af ammoniakemissionen fra stalde benytter udvalget for beregning af normtal for husdyrgødning sig af, at ammoniakemissionen fra stalde, alt andet lige, er ligefrem proportional med den udskilte mængde urin-N (Sommer et al., 2006a; Sommer et al., 2006b; Kai et al., 2018). De i Tabel 1 angivne værdier for reduceret indhold af råprotein og afledte effekter på udskillelsen af kvælstof giver derfor anledning til, at ammoniakemissionen fra sostalde påvirkes ligefrem proportionalt (Tabel 2).

**Tabel 2.** Effekt af protein-indhold i sofoderet på ammoniakemissionen fra sostalde (gennemsnit af foder tildelt i henholdsvis løbe-/drægtighedsstalde og farestalde).

<b>Gram råprotein per FEso</b>	<b>N udskilt i urin (kg/årsso)</b>	<b>N-urin reduktion (%)</b>	<b>Reduktion i ammoniakemission per årsso (%)</b>
<b>133,3</b>	17,80	0	0
<b>128,0</b>	16,52	7,2	7,2
<b>126,0</b>	15,99	10,1	10,1

## Danske og udenlandske forsøg

Det er et velkendt fænomen, at der er en positiv sammenhæng mellem foderets indhold af råprotein og ammoniakemissionen, hvilket er dokumenteret i talrige forsøg med især slagtesvin. Sajeev et al. (2017) foretog en meta-analyse af resultater fra 14 publicerede studier omhandlende effekten på ammoniakemissionen af reduceret råprotein i foder tildelt henholdsvis svin og kvæg. Analysen viste,



at ammoniakemissionen i gennemsnit falder med  $11 \pm 6$  % for hver %-point reduktion i foderets indhold af råprotein. Der skelnes ikke mellem forskellige kategorier af svin samt, om målingerne var foretaget på stalde, gyllelager eller under udbringning af gyllen.

## Lugtemission

Der er ikke fundet dokumentation for, at reduceret råprotein i foderet reducerer lugtemissionen fra sostalde. Forsøg gennemført i slagtesvinestalde har heller ikke påvist sammenhæng (bl.a. Hansen et al. (2007), Hansen et al. (2014), Le et al. (2009)).

## Støvemission

Reduceret råprotein i foderet skønnes ikke at påvirke støvemissionen fra sostalde.

## Drivhusgasemissioner

Der forventes ingen effekt af reduceret råprotein på hverken enterisk metanproduktion eller metanproduktion fra håndtering af husdyrgødningen.

Husdyrgødningen producerer ifølge IPCC's beregningsmetoder en mængde lattergas ( $N_2O$ ), henholdsvis direkte lattergasemission som stammer fra gødningshåndteringen i stald og lager og indirekte emission, der dækker over den produktion af lattergas, der forventes, når ammoniak og  $NO_x$ , der er fordampet fra stald og lager, deponeres i det eksterne miljø og det efterfølgende giver anledning til dannelse af lattergas. Den direkte lattergasemission beregnes på grundlag af udskillelsen af kvælstof i husdyrgødningen, mens den indirekte lattergasemission beregnes på grundlag af emissionerne af ammoniak og  $NO_x$ . En reduceret udskillelse af kvælstof per årssø vil således, alt andet lige, medføre en proportional reduktion i såvel den direkte som den indirekte lattergasemission.

## Energi- og ressourceforbrug

En reduktion i sofoderets indhold af råprotein vurderes ikke at have indvirkning på energi- og andet ressourceforbrug.

## Virkning på lager og under udbringning af husdyrgødning

En lavere mængde udskilt kvælstof af so reducerer ammoniaktabet under lagring af husdyrgødningen samt under udbringning. Antages det, at søyllens indhold af fosfor er primært begrænsende for tilførslen af gylle per hektar, vil en mindre mængde N i udbragt gylle blive kompenseret for via en øget mængde N i handelsgødning.

Reduktion af indholdet af råprotein i sofoder fra 133,3 g ford. råprotein per FEso til henholdsvis 128 og 126 g ford. råprotein per FEso opnås ved erstatning af foderkomponenter med høj fordøjelighed (især sojaskrå) med foderkomponenter med lavere fordøjelighed (især byg og hvede), hvilket fører til en lille marginal forøgelse i mængden af udskilt organisk N af dyr (Tabel 1), og dette medfører en meget lille marginal forøgelse i kvælstof-udvaskningen grundet lavere N-udnyttelse af organisk N sammenlignet med ammonium-N.

## Affald og spildevand

En reduktion i foderets indhold af råprotein skønnes ikke at påvirke produktionen af affald og spildevand.

## Miljøfremmede stoffer

En reduktion i foderets indhold af råprotein skønnes ikke at påvirke mængden af miljøfremmede stoffer, der udledes via husdyrgødningen.

## Anvendelse i eksisterende stalde

Det er nødvendigt at benytte fasefodring i drægtighedsperioden, hvis en reduktion i foderets gennemsnitlige råprotein-indhold skal kunne opnås. Dette vil ofte kunne praktiseres i eksisterende stalde med elektronisk sofodring, idet foderstationer ofte kan håndtere mere end én foderblanding. I løbe-/drægtighedsstalde, hvor tørfoder tildeles i krybbe eller på gulv (en-boks-per-so og lignende), vil det ofte være nødvendigt at eftermontere en ekstra foderstreng (medpåslag og fodersilo) for at kunne praktisere fasefodring. Drægtighedsstalde, hvor der praktiseres vådfodring i langkrybbe, kan være begrænset af, hvor mange foderblandinger, som foderanlægget kan producere per dag.

## Økologi

Økologiske søer må ikke fodres med frie aminosyrer, og derfor vil deres foder indeholde mere råprotein per FEso for at opfylde behovet for alle essentielle aminosyrer, og søerne vil derfor have en markant lavere proteinudnyttelse end konventionelle søer. Konsekvensen af dette er en højere N udskillelse via urinen, hvilket øger ammoniakfordampningen. Da der ikke må anvendes frie aminosyrer, er det ikke muligt at indføre reduceret protein, som en teknologi til reduktion af ammoniakemissionen fra økologiske søer.

## Arbejds miljø

Reduktion i foderets indhold af råprotein vurderes ikke at betyde noget for arbejdsmiljøet.

## Sundhed og velfærd

Det forventes ikke, at reduktion i foderets indhold af råprotein i det beskrevne område vil påvirke sundhed og velfærd.

## Udbredelse

Der foreligger ingen dokumentation for udbredelsen af reduceret råprotein i sofoder.

## Helhedsvurdering af teknikken

Ikke vurderet.

## Økonomi

Der er ikke foretaget økonomisk analyse af reduceret råprotein i foder til søer.

## Litteratur

- Feyera, T., and P. K. Theil. (2017). Energy and lysine requirements and balances of sows during transition and lactation: A factorial approach. *Livest. Sci.* 201: 50-57.
- Hansen, C.F., G. Sørensen og M. Lyngbye (2007) Reduced diet crude protein level, benzoic acid and inulin reduced ammonia, but failed to influence odour emission from finishing pigs. *Livestock Science* 109(2007), 228-231.
- Hansen, M.J., J.V. Nørgaard, A.P. Adamsen og H.D. Poulsen (2014): Effect of reduced crude protein on ammonia, methane, and chemical odorants emitted from pig houses. *Livestock Science* 169(2014), 118-124.
- Højgaard, C. K., T. S. Bruun, and P. K. Theil. 2019a. Optimal lysine in diets for high-yielding lactating sows. *J Anim Sci.* 97(10):4268-4281.
- Højgaard, C. K., T. S. Bruun, and P. K. Theil. 2019b. Optimal crude protein in diets supplemented with crystalline amino acids fed to high-yielding lactating sows. *J Anim Sci.*97(8): 3399-3414.
- Højgaard, C. K., T. S. Bruun, A. V. Strathe, J.-E. Zerrahn, and C. F. Hansen. 2019c. High-yielding lactating sows maintained a high litter growth when fed reduced crude protein, crystalline amino acid-supplemented diets. *Livestock Science* 226: 40-47.
- Kai, P., M.J. Hansen, P. Tybirk, M.L. Jensen, H.B. Jensen og H. Bækgaard (2018). Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normtal 2018. Kapitel 8. Tab fra stalde, 42 pp. [https://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/dokumenter\\_anis/Forskning/Normtal/Normtal\\_for\\_husdyrgoedning\\_Kapitel\\_8\\_Stalde\\_2018-19.pdf](https://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/dokumenter_anis/Forskning/Normtal/Normtal_for_husdyrgoedning_Kapitel_8_Stalde_2018-19.pdf)
- Le, P.D., A.J.A. Aarnink & A.W. Jongbloed (2009). Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level. *Livestock Science* 121: 267-274.
- Lund, P. (Ed.) (2018). Normtal for husdyrgødning 2018. [https://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/dokumenter\\_anis/Forskning/Normtal/Normtal\\_2018\\_1.pdf](https://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/dokumenter_anis/Forskning/Normtal/Normtal_2018_1.pdf)
- Pedersen, T. F., T. S. Bruun, N. L. Trottier, and P. K. Theil (2019). Nitrogen utilization of lactating sows fed increasing dietary protein. *J. Anim. Sci.* 2019.97:3472–3486. doi: 10.1093/jas/skz213
- Poulsen, H.D. 2010. Normtal for husdyrgødning – 2010. [https://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/Normtal\\_2010.pdf](https://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/Normtal_2010.pdf)
- Sommer, S.G., B-E. Jensen, N. Hutchings, N.H. Lundgaard, A.Grønkjær, T.S. Birkmose, P. Pedersen og H.B. Jensen (2006a). Emissionskoefficienter til brug ved beregning af ammoniakfordampning fra stalde. DJF rapport Husdyrbrug nr. 70, 45 pp.

- Sommer, S.G., G.Q. Zhang, A. Bannink, D. Chadwick, T. Misselbrook, R. Harrison, N.J. Hutchings, H. Menzi, G.J. Monteny, J.Q. Ni, O. Oenema and J. Webb (2006b). Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. *Advances in Agronomy*, Volume 89: 261-335.
- Strathe, A. V., T. S. Bruun, J.-E. Zerrahn, A. H. Tauson, and C. F. Hansen. 2015. The effect of increasing dietary valine-to-lysine ratio on sow metabolism, milk production and litter growth. *Journal of Animal Science* 94: 155-164.
- Strathe, A. V., T. S. Bruun, N. Geertsen, J.-E. Zerrahn, and C. F. Hansen. 2017. Increased dietary protein levels during lactation improved sow and litter performance. *Animal Feed Science and Technology* 232: 169-181.
- Theil, P.K., H. Jørgensen and K. Jakobsen (2002). Energy and protein metabolism in pregnant sows fed two levels of dietary protein. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 86: 399-413.
- Theil, P.K., H. Jørgensen and K. Jakobsen (2004). Energy and protein metabolism in lactating sows fed two levels of dietary fat. *Livestock Production Science*, 89: 265-276.
- Tybirk, P., N.M. Sloth, N. Kjeldsen, and L. Shooter (2019). *Normer for næringsstoffer, 29 udgave*, SEGES, Svineproduktion.
- Tybirk, P. (2020). Reduceret proteinindhold i foder til søer reducerer ammoniakfordampningen. Notat nr.2003, SEGES, Svineproduktion.